

Potencialidades e uso da quitosana no tratamento de rejeitos têxteis**Potentials and use of chitosan in the treatment of textile waste**

Recebimento dos originais: 19/09/2018

Aceitação para publicação: 18/10/2018

Lourdes A. Etshindo

Engenheira Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Instituição: Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Endereço: Rua São Francisco Xavier, 524, prédio Haroldo Lisboa, Instituto de Química, Maracanã,
Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mail: lourdes.akaho@gmail.com

Priscila Tamiasso-Martinhon

Doutora em Físico-Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro

Endereço: Avenida Athos da Silveira Ramos 149, CT, Instituto de Química, Ilha do Fundão, RJ,
Brasil

E-mail: pris-martinhon@hotmail.com

Angela Sanches Rocha

Doutora em Físico-Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro

Instituição: Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Endereço: Rua São Francisco Xavier, 524, prédio Haroldo Lisboa, Instituto de Química, Maracanã,
Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mail: angela.sanches.rocha@gmail.com

Lúcia Regina Raddi de Araujo

Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro

Instituição: Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Endereço: Rua São Francisco Xavier, 524, prédio Haroldo Lisboa, Instituto de Química, Maracanã,
Rio de Janeiro, RJ, Brasil

E-mail: luraddi@gmail.com

Célia Sousa

Doutora em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio de Janeiro

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro

Endereço: Avenida Athos da Silveira Ramos 149, CT, Instituto de Química, Ilha do Fundão, RJ,
Brasil

E-mail: sousa@iq.ufrj.br

RESUMO

Os rejeitos gerados na indústria têxtil são um problema enfrentado por países em todo mundo. Estes rejeitos causam sérios danos ambientais, sendo que os corantes aparecem como um dos componentes com maior caráter poluidor. Assim, o desenvolvimento de processos para tratamento de rejeitos têxteis tem recebido muita atenção em centros de pesquisa. Neste trabalho realizou-se uma revisão da literatura sobre o uso de quitosana para tratamento destes rejeitos e concluímos que este biopolímero é barato, abundante e apresenta características promissoras para o decoloramento de efluentes.

Palavras Chave: Quitosana; Tratamento de efluentes têxteis; Corantes; Meio ambiente.

ABSTRACT

Tailings generated in the textile industry are a problem faced by countries around the world. These wastes cause serious environmental damage, and dyes appear as one of the most polluting components. Thus, the development of processes for treatment of textile waste has received much attention in research centers. In this work a review of the literature on the use of chitosan for treatment of these wastes was conducted and we conclude that this biopolymer is inexpensive, abundant and presents promising characteristics for the bleaching of effluents.

Keywords: Chitosan; Treatment of textile effluents; Dyes; Environment.

1 INTRODUÇÃO

A indústria têxtil é um dos principais geradores de efluentes devido ao elevado consumo de água em suas diferentes operações. Esses efluentes contêm produtos químicos como ácidos, álcalis, corantes, peróxido de hidrogênio, amido, agentes dispersantes, sabões e metais. Assim, este tipo de atividade industrial gera um grande impacto ambiental, causado principalmente pelos rejeitos líquidos altamente poluídos (HOLKAR *et al.*, 2016). Da mesma forma ocorre com as indústrias de corantes que anualmente fabricam 7×10^7 toneladas de corantes em todo o mundo e uma quantidade significativa é perdida durante o processamento, a qual em última instância, é misturada com corpos d'água (BILAL *et al.*, 2016).

Devido à natureza recalcitrante dos corantes, não é satisfatório que esses efluentes sejam tratados com apenas um método de tratamento. Muitas vezes, um único método não produz água tratada que atenda aos requisitos regulamentares (SUET *et al.*, 2016) e na indústria têxtil, os regulamentos relativos à descarga de águas residuais tornaram-se cada vez mais rigorosos (SZYGUA *et al.*, 2009).

Os fenóis também estão entre os mais abundantes poluentes na terra e os seus derivados (Alquilfenóis, fenóis halogenados, nitrofenóis) são produzidos, usados e dispersos por várias atividades industriais, incluindo o fabrico de corantes. São tóxicos e foram relatados como

compostos mutagênicos, cancerígenos e teratogênicos (ALARCÓN-PAYÁN, KOYANI & VAZQUEZ-DUHALT, 2017).

Logo, a medida que a proteção ambiental se torna uma preocupação global, as indústrias estão trazendo novas soluções para o desenvolvimento de tecnologias capazes de reduzir o dano ambiental (VERMA, DASH & BHUNIA, 2011). A literatura disponível mostra um grande número de métodos de descoloração convencional bem estabelecidos que envolvem processos físico-químicos, químicos e biológicos, bem como algumas das novas técnicas emergentes, como processos sonoquímicos ou de oxidação avançada (VERMA, DASH & BHUNIA, 2011).

O uso industrial potencial de quitosana é amplamente reconhecido, sendo utilizado em engenharia biomédica, farmácia, odontologia, oftalmologia, biotecnologia, química, cosméticos, têxteis, celulose e papel, enologia, indústria alimentar, agricultura e fotografia. A quitosana também é amplamente aplicada no tratamento de águas e águas residuais (Renault *et al.*, 2008). Portanto, o objetivo desse artigo é fazer um levantamento e destacar algumas aplicações e potencialidades deste biopolímero bastante versátil, como material utilizado no tratamento de rejeitos têxteis para redução de corantes de uma forma mais sustentável, que pode contribuir para a diminuição de danos ambientais.

2 QUITOSANA

A quitosana é o produto desacetilado da quitina (OLIVERA *et al.*, 2016). A quitina, poli (β -(1-4)-N-acetil-D-glucosamina) é um polissacarídeo natural de grande importância, identificado pela primeira vez em 1884. Quando o seu grau de desacetilação atinge cerca de 50% (dependendo da origem do polímero), torna-se solúvel em meio ácido aquoso e é chamado de quitosana (RINAUDO, 2006). A quitosana é encontrada principalmente em conchas de crustáceos, como camarão, caranguejo, lagosta, lagostins e paredes celulares de fungos, bem como cutículas de insetos (OLIVERA *et al.*, 2016). Depois da celulose, a quitosana é o biopolímero mais abundante na terra (OLIVERA *et al.*, 2016; RINAUDO, 2006).

A quitosana é um copolímero hidrofílico linear com estrutura dinâmica, contendo unidades de glucosamina e acetilglucosamina. É insolúvel em água e solventes orgânicos, no entanto, em ácidos orgânicos diluídos, tais como ácido acético, ácido fórmico e ácidos inorgânicos, com a notável exceção do ácido sulfúrico, pois nestes meios os grupos amino livres são protonados e o biopolímero torna-se totalmente solúvel (RENAULT *et al.*, 2008) e a sua estrutura torna-se altamente carregada positivamente (SHAN *et al.*, 2007). Por outro lado, quando diluída em soluções alcalinas, pode precipitar (SZYGUA *et al.*, 2009).

O grupo amino confere importantes propriedades à quitosana, como solubilidade em ácido, capacidade de aderência a superfícies carregadas negativamente, além de ser um poli-eletrólito catiônico. Assim como a hidroxila presente em sua estrutura, o grupo amino pode servir como sítio ativo durante o processo de adsorção. Além disso, a quitosana é um polímero não tóxico e biodegradável. Sua principal desvantagem é a sensibilidade ao pH (HABIBA *et al.*, 2016). Segundo Szygus *et al.* (2009), o seu comportamento químico envolve dois fatores, as interações hidrofóbicas e a possibilidade de associação por meio de ligações hidrogênio. As interações hidrofóbicas são devidas ao grupo metil da função acetamida e aos grupos $-CH$ e $-CH_2$ do anel de glicose. As ligações hidrogênio são geralmente decorrentes da presença das funções de álcool, amina, amida e éter na cadeia de quitosana. Esses grupos químicos estão implicados na formação competitiva das ligações hidrogênio inter e intramoleculares, bem como nas interações com outros substratos. Assim, o comportamento químico da quitosana varia bastante de acordo com o meio líquido na qual está, além do pH, podendo ser encarada como limitação ou como versatilidade da substância em relação à sua aplicação.

Um número crescente de artigos tem sido publicado desde a década de 1980 em relação à quitosana para tratamento de efluentes (CRINI & BADOT, 2007), deste modo, serão apresentadas algumas aplicações específicas de uso para o tratamento de efluentes têxteis.

3 QUITOSANA NA COMPOSIÇÃO DE CATALISADORES

Diversos trabalhos têm sido reportados a respeito da aplicação de semicondutores inorgânicos no tratamento de efluentes têxteis, principalmente atuando como catalisadores para decoloramento de corantes em processos fotocatalíticos. O TiO_2 , ou titânia, é um dos fotocatalisadores mais promissores, por ser capaz de quebrar as moléculas de corantes degradando os grupos cromóforos, não ser tóxico, apresentar uma grande área específica e estabilidade tanto em meio ácido quanto básico (HABIBA *et al.*, 2016). Além disso, pesquisas relatam que a atividade fotocatalítica desses semicondutores pode ser aumentada dopando-os com metais de transição, como La, Fe, Pd e Mn ou seus íons (AHMAD, *et al.*, 2014).

Entretanto, por serem geralmente utilizados em suspensão, separá-los do meio reacional é um processo adicional, tornando o tratamento mais demorado e custoso (DHANYA & APARNA, 2016; HABIBA *et al.*, 2016). Portanto, nos últimos anos, polímeros como quitosana, celulose, PVA etc. foram utilizados como matriz para materiais semicondutores, na forma de compósitos e também para fornecer uma interface que possa propiciar a transferência de carga (HABIBA *et al.*, 2016). Também há uma atenção crescente em relação ao uso de biopolímeros, como quitosana, como suporte de fases ativas metálicas (GUIBAL, 2004).

Alguns trabalhos apresentam resultados do desempenho de catalisadores contendo quitosana em suas composições como agente de imobilização, indicando que também atuam como um co-adsorvente, aumentando a eficiência fotocatalítica de semicondutores na degradação de corante azo e antraquinona (DHANYA & APARNA, 2016), corante reativo (NAWI *et al.*, 2010), fenol (NAWI *et al.*, 2011) e outros corantes aniônicos (HABIBA *et al.*, 2016). Além disso, foi reportado o uso de nanofibras de quitosana na confecção de um eletrodo modificado, que exibiu alta atividade eletrocatalítica para redução do íon NO_2^- (SHAN *et al.*, 2007). Estes exemplos indicam a grande flexibilidade desse biopolímero em materiais compósitos para uso catalítico.

A quitosana pode ser usada como suporte para a obtenção de catalisadores heterogêneos sob a forma de coloides, flocos, grânulos de gel, fibras (incluindo fibras ocas) ou imobilizados em suportes inorgânicos, como alumina, sílica ou outros óxidos metálicos (GUIBAL, 2004).

Foi reportado, por exemplo, que o filme Quitosana/PVA/Na-titanato/ TiO_2 possui excelentes propriedades fotocatalíticas sob irradiação ultravioleta e de adsorção na degradação dos corantes alaranjado de metila e vermelho congo, com elevadas taxas de descoloração, 99,9% e 95,76%, respectivamente (HABIBA *et al.*, 2016).

4 QUITOSANA NA COMPOSIÇÃO DE BIOCATALISADORES

Os processos biotecnológicos baseiam-se em biotransformações realizadas por células vivas e na biocatálise, por enzimas. Nos métodos biológicos para tratamento de efluentes têxteis, os micro-organismos se adaptam aos corantes e são capazes de convertê-los em compostos menos danosos. O mecanismo de biodegradação para corantes recalcitrantes baseia-se no acesso de enzimas tais como a lactase, a peroxidase de lignina, a redutase de NADH-DCIP, a tirosinase, a hexaoxidase de hexano e a N-desmetilase de aminopirina (HOLKAR *et al.*, 2016).

Sabe-se que as enzimas extracelulares, que estão envolvidas nos primeiros passos da biodegradação, podem transformar uma variedade de poluentes orgânicos, incluindo fenóis, em substâncias menos perigosas (ALARCÓN-PAYÁN, KOYANI & VAZQUEZ-DUHALT, 2017). Algumas enzimas, especialmente as peroxitases fúngicas e as lactases, mostraram um grande potencial para abatimento de corantes, porém, as enzimas nativas utilizadas no tratamento biológico são instáveis e sofrem desativação em meios certos operacionais, não sendo possível a completa mineralização dos poluentes. Sendo assim, a quitosana também pode servir como suporte para a imobilização das enzimas proporcionando estabilidade em uma faixa maior de condições do meio reacional, além de permitir sua recuperação. Isto é possível porque a imobilização de enzimas nestes suportes sólidos a base de quitosana pode melhorar a sua estabilidade em temperaturas elevadas, pH extremo e outros agentes desnaturantes, facilitando sua recuperação e reutilização,

agregando diminuição do custo do processo (BILAL *et al.*, 2016; ALARCÓN-PAYÁN, KOYANI & VAZQUEZ-DUHALT, 2017). Portanto, a ideia de encapsulação enzimática em nanopartículas de quitosana pode fornecer uma preparação enzimática inovadora para aplicações práticas.

Existe também resultados sobre o uso da quitosana na composição de biocatalisadores. A enzima peroxidase de manganês (MnP), por exemplo, foi imobilizada em grânulos de quitosana ativados com glutaraldeído por reticulação e empregada para a degradação e desintoxicação de corantes em efluentes têxteis. A eficiência do uso da quitosana foi avaliada com base na descoloração (97,31%), na melhoria da qualidade da água e na redução da toxicidade, com 82,40% na redução de carbono orgânico dissolvido (COD), 78,30% na redução de carbono orgânico total (COT) e 91,70% na redução de demanda bioquímica de oxigênio DBO, que são indicadores utilizados para investigar a mineralização dos corantes, ou decomposição com geração de CO₂ (BILAL *et al.*, 2016).

O encapsulamento da enzima peroxidase em nanopartículas de quitosana para biorremediação de poluentes fenólicos preservou a sua performance catalítica, apresentou maior estabilidade térmica e um aumento significativo da estabilidade operacional em condições reais de tratamento de efluentes. No entanto, a taxa de transformação foi menor do que a obtida com a enzima livre, sugerindo limitações de transferência de massa (ALARCÓN-PAYÁN, KOYANI & VAZQUEZ-DUHALT, 2017).

5 QUITOSANA COMO COAGULANTE E FLOCULANTE

Muitos processos são testados para o tratamento de efluentes têxteis e o processo de coagulação-floculação pode ser usado como um pré-tratamento, um pós-tratamento ou mesmo o tratamento principal de efluentes têxteis (SZYGUA *et al.*, 2009).

A coagulação é seguida por floculação, processo no qual as partículas desestabilizadas se agregam para formar flocos maiores que podem ser efetivamente removidos por sedimentação (YANG *et al.*, 2016).

Um dos agentes coagulantes mais utilizados nos tratamentos tradicionais é o sulfato de alumínio, no entanto uma grande quantidade de lodo é gerada neste tipo de processo. Ainda existe debate sobre a toxicidade do alumínio deste tipo de lodo, portanto sendo possível, evita-se tratamentos que gerem grande quantidade de lodo rico neste metal. Sabe-se que altas concentrações de alumínio na água podem ter implicações para a saúde humana, então o desenvolvimento e uso de coagulantes ambientalmente amigáveis são uma alternativa interessante para a purificação das águas residuais (RENAULT *et al.*, 2008).

Assim como o sulfato de alumínio, vários coagulantes comercialmente disponíveis receberam atenção pelos possíveis impactos na saúde, aumentando a busca por alternativas naturais, biodegradáveis e mais seguras. Os polieletrólitos catiônicos são de particular interesse como floculantes potenciais. Sendo assim, o biopolímero catiônico mais promissor para aplicação extensiva é a quitosana (SZYGUAet al., 2009).

O uso da quitosana para a coagulação-floculação de corante aniônico foi estudado por Guibal&Roussy (2006) e Szyguaet al. (2009). Para ambos, os corantes foram eficientemente removidos, sendo as observações consistentes com o uso comercial de quitosana para o tratamento de efluentes têxteis por meio deste processo.

No processo de coagulação-floculação, a velocidade de sedimentação dos flocos é um parâmetro de suma importância, pois influenciano custo e na eficiência deste. A quitosana se mostrou muito eficaz na remoção de corantes e produz uma pequena quantidade de lodo (SZYGUAet al., 2009).

O porquê da quitosana possuir características de coagulantes e floculantes está associado à alta densidade de carga catiônica, longas cadeias poliméricas, ponte de agregados e precipitação (em condições de pH neutro ou alcalino) (RENAULTet al., 2008). Portanto, ela pode comportar-se como coagulante (neutralização da carga) ou como floculante (ponte), dependendo da natureza dos coloides, do pH da suspensão e das condições experimentais, isto é, concentrações (SZYGUAet al., 2009).

6 QUITOSANA COMO ADSORVENTE

O uso da quitosana na adsorção também é um dos métodos emergentes mais frequentemente relatados para a remoção de poluentes (CRINI& BADOT, 2007). Ela pode ser utilizada como adsorvente para remover metais pesados e corantes tanto aniônicos quanto catiônicos, devido à presença de grupos amino e hidroxila, que podem servir como sítios ativos (WAN-NGAH, TEONG &HANAFIAH, 2010). Além disso, o grau de desacetilação da quitosana afeta a sua capacidade de adsorção, podendo ser controlado. O grau alto geralmente resulta da presença de grandes quantidades de grupos amino e pode aumentar a capacidade de adsorção de corante por protonação (VAKILIet al., 2014).

A eficiência de adsorção é influenciada pela natureza e tipo de adsorvente. Segundo Vakili et al. (2014), as propriedades que um adsorvente deve possuir para remoção de corantes são: grande área específica, alta capacidade de adsorção, tamanho e volume de poros adequados, fácil acessibilidade, baixo custo-benefício, estabilidade mecânica, compatibilidade, facilidade de

regeneração, ser ambientalmente amigável, alta seletividade para remoção de uma ampla variedade de corantes e não exigir complexos procedimentos de processamento.

Embora a quitosana apresente eficiência de adsorção, pesquisas revelam que o seu desempenho, estabilidade e suas propriedades mecânicas podem ser melhorados por meio de modificações químicas. Wan Ngah, Teong & Hanafiah (2010) realizaram um estudo bibliográfico sobre a aplicação de compósitos de quitosana para remoção de corantes e íons metálicos pesados, nos 10 anos anteriores ao trabalho, destacando diferentes tipos de substâncias que foram utilizados para formar compósitos com quitosana, como poliuretano, argila ativada, bentonita, álcool polivinílico, cloreto de polivinila, caulinita, cinzas de palmeira e perlite. Uma lista de compósitos de quitosana com sua capacidade de adsorção e as condições experimentais foi compilada.

No estudo eles concluíram que a adsorção usando compósitos de quitosana é uma alternativa promissora para substituir adsorventes convencionais na remoção de corantes e íons de metais pesados. Eles também verificaram que o uso de agente de reticulação, como o glutaraldeído ou processos de modificação, como revestimento, melhora as propriedades de dissolução da quitosana, permitindo que os compósitos funcionem bem em condições ácidas. Segundo eles, o mecanismo de adsorção desses compósitos é único, pois depende da sua natureza catiônica. Grupos amino de compósitos de quitosana podem sofrer protonação (formando amina protonada) que podem adsorver íons metálicos ou moléculas de corantes através de vários tipos de mecanismos de interação, como atrações eletrostáticas e quelatação (WAN NGAH, TEONG, & HANAFIAH, 2010).

A vantagem de materiais a base de quitosana em comparação com adsorventes comerciais tais como carbonos ativados comerciais (CAC) para remoção de corantes em solução também já havia sido relatada anteriormente por Crini & Badot (2007), destacando particularmente alguns fatores:

(i) Seu uso é economicamente muito interessante. Em muitos países, os resíduos da pesca foram utilizados como excelentes fontes para produzir quitosana por serem abundantemente disponíveis, com custo muito baixo.

(ii) São muito eficientes e o volume de biosorvente usado também é reduzido, devido à alta capacidade de adsorção. Os biosorventes possuem uma excelente capacidade e alta taxa de adsorção e também alta seletividade na desintoxicação tanto de soluções muito diluídas quanto concentradas.

(iii) Podem ser utilizados para tratamento de efluentes correndo uma grande variedade de corantes, pois têm uma afinidade extremamente alta para muitos tipos.

(iv) São muito versáteis no desenvolvimento de novos materiais, pois podem ser fabricados na forma de filmes, membranas, fibras, esponjas, géis, grânulos e nanopartículas, ou suportada em materiais inertes.

A utilização desses materiais apresenta muitas vantagens em termos de aplicabilidade em uma ampla variedade de processo sob diferentes configurações.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou diferentes aplicações da quitosana para o tratamento de efluentes têxteis por meio de um levantamento bibliográfico de 2004 até 2017. As pesquisas mostraram que a quitosana é um potencial e versátil biopolímero que pode ser utilizado na catálise e biocatálise fazendo parte da composição dos catalisadores para o tratamento de efluentes têxteis e também pode ser aplicado em um tratamento convencional como coagulante e floculante, assim como ser usado como um bioadsorvente. Esse trabalho traz uma nova perspectiva quanto ao uso da quitosana e a forma pela qual os efluentes podem ser tratados a partir dela.

Vale ressaltar os aspectos ambientais do uso da quitosana neste processo pois, além de contribuir no tratamento de rejeitos efluentes, o aproveitamento da fonte de biomassa que é usualmente descartada no lixo normal, cascas de crustáceos, também contribui para a diminuição da produção de rejeitos sólidos.

REFERÊNCIAS

ALARCÓN-PAYÁN, D. A.; KOYANI, R. D.; VAZQUEZ-DUHALT, R. Chitosan-based biocatalytic nanoparticles for pollutant removal from wastewater. **Enzyme and Microbial Technology**, 100, 71-78, 2017.

M.AHMAD, M.; AHMED, E.; AHMED, W.; ELHISSI, A.; HONG, Z.L.; KHALID, N.R.

Ahmad, M *et al.* Enhancing visible light responsive photocatalytic activity by decorating Mn-doped ZnO nanoparticles on graphene, **Ceramics International**, 40, 10085-10097, 2014.

BILAL, M.; ASGHER, M.; IQBAL, M; HUA, H.; ZHANG, X. Chitosan beads immobilized manganese peroxidase catalytic potential for detoxification and decolorization of textile effluent. **International Journal of Biological Macromolecules**, 89, 181-189, 2016.

CRINI, G.; BADOT, P. Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dyeremoval from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: A review of recent literature. **Progress in Polymer. Science**, 33, 399-447, 2007.

GUIBAL, E. Heterogeneous catalysis on chitosan-based materials: a review. **Progress in Polymer Science**, 30, 71-109, 2004.

GUIBAL, E.; ROUSSY, J. Coagulation and flocculation of dye-containing solutions using a biopolymer (Chitosan). **Reactive & Functional Polymers**, 67, 33-42, 2006.

HABIBA, U.; SLAM, MD. S.; SIDDIQUE, T. A.; AFIFI, A. M.; ANG, A. C. ADSORPTION and photocatalytic degradation of anionic dyes on Chitosan/PVA/Na-Titanate/TiO₂ composites synthesized by solution casting method. **Carbohydrate Polymers**, 149, 317-331, 2016.

HOLKAR, C. R.; JADHAV, A. J.; PINJARI, D. V.; MAHAMUNI, N. M. A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches. **Journal of Environmental Management**, 182, 351-366, 2016.

NAWI, M. A.; JAWARD, A. H.; SABAR, S.; WAN NGAH, W. S. Immobilized bilayer TiO₂/chitosan system for the removal of phenol under irradiation by a 45 watt compact fluorescent lamp. **Desalination**, 280, 288-296, 2011.

NAWI, M. A.; SABAR, S.; JAWARD, A. H.; SHEILATINA; WAN NGAH, W. S. Adsorption of Reactive Red 4 by immobilized chitosan on glass plates: Towards the design of immobilized TiO₂-chitosan synergistic photocatalyst-adsorption bilayer system. **Biochemical Engineering Journal**, 49, 317-325, 2010.

OLIVERA, S.; MURALIDHARA, H. B.; VENKATESH, K.; GUNA, V. K.; GOPALAKRISHNA, K.; KUMAR K, Y. Potential applications of cellulose and chitosan nanoparticles/composites in wastewater treatment: A review. **Carbohydrate Polymers**, 153, 600-618, 2016.

RENAULT, F.; SANCEY, B.; BADOT, P. M.; CRINI, B. G. Chitosan for coagulation/flocculation processes – An eco-friendly approach. **European Polymer Journal**, 45, 1337-1348, 2008.

RINAUDO, M. Chitin and chitosan: Properties and applications. **Progress in Polymer Science**, França, 31, 603-632, 2006.

SIVAKAMI, M. S.; GOMATHI, T.; VENKATESAN, J.; JEONG, H.; KIM, S.; SUDHA, P. N. Preparation and characterization of nanochitosan for treatment of wastewaters. **International Journal of Biological Macromolecules**, 57, 204-212, 2013.

SHAN, Y.; YANG, G.; JIA, Y.; GONG, J.; SU, Z.; QU, L. ITO electrode modified with chitosan nanofibers loading polyoxometalate by one step self-assembly method and its electrocatalysis. **Electrochemistry Communications**, 9, 2224-2228, 2007.

SU, C. X.; LOW, L. W.; TENG, T. T.; WONG, Y. S. Combination and hybridisation of treatments in dye wastewater treatment: A review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, 4, 3618-3633, 2016.

SZYGUA, A.; GUIBAL, E.; PALACÍN, M. A.; RUIZ, M.; SASTRE, A. M. Removal of an anionic dye (Acid Blue 92) by coagulation–flocculation using chitosan. **Journal of Environmental Management**, 90, 2279-2986, 2009.

VAKILI, M.; RAFATULLAH, M.; SALAMATINIA, B.; ABDULLAH, A.Z.; IBRAHIM, M.H.; TAN, K.B.; GHOLAMI, Z.; AMOUZGAR, P. Application of chitosan and its derivatives as adsorbents for dye removal from water and wastewater: A review. **Carbohydrate Polymers**, 113, 115-130, 2014.

VERMA, A. K.; DASH, R. R.; BHUNIA, P. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. **Journal of Environmental Management**, 93, 154-168, 2011.

WAN NGAH, W. S.; TEONG, L. C.; HANAFIAH, M. A. K. M. Adsorption of dyes and heavy metal ions by chitosan composites: A review. **Carbohydrate Polymers**, 83, 1446-1456, 2010.

WANG, B.; ZHU, Y.; BAI, Z.; LUQUE, R.; XUAN, J. Functionalized chitosan biosorbents with ultra-high performance, mechanical strength and tunable selectivity for heavy metals in wastewater treatment. **Chemical Engineering Journal**, 325, 350-359, 2017.

YANG, R.; LI, H.; HUANG, M.; YANG, H.; LI, A. A review on chitosan-based flocculants and their applications in water treatment. **Water Research**, 95, 59-89, 2016.